

САМАРСКИЙ ДВОРЕЦ ДЕТСКОГО И ЮНОШЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА
САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШКОЛА

УСЛОВИЯ КОНКУРСНЫХ ЗАДАЧ
ЗАОЧНОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО АСТРОНОМИИ
SAMRAS-2019

СРЕДИ ОБУЧАЮЩИХСЯ 10-11 КЛАССОВ.

ТУР № 2



Самара, 2019 г.

Дорогие Друзья!

Вашему вниманию в данном релизе представлены 18 оригинальных задач трех уровней сложности – «Новичок» (уровень А), «Знаток» (уровень В) и «Профи» (уровень С). Задачи составлены в соответствии с *Перечнем вопросов, рекомендуемых Центральной предметной методической комиссией Всероссийской Олимпиады школьников по астрономии для подготовки обучающихся 10-11 классов к решению задач ее заключительного этапа.*

При использовании материалов релиза ссылка на документ обязательна!

Ссылка: «Условия конкурсных задач заочной олимпиады по астрономии SAMRAS-2019 среди обучающихся 10-11 классов. Тур № 2». – <https://sites.google.com/site/samrasolimp/tasks>

Памятка участника SamRAS-2019

1. Официальный сайт Астрошколы:

<https://sites.google.com/site/samrasolimp/>

2. Официальная группа в VK:

<http://vk.com/samrasolimp>

3. Сроки подачи работ SamRAS-2019 тура № 2 на проверку:
15.02.2019-15.05.2019!!!

4. Электронный ящик SamRAS-2019:

samrasolimp@mail.ru

5. Руководство зарегистрированного участника заочной олимпиады по астрономии SamRAS-2019:

<https://sites.google.com/site/samrasolimp/maindocs>

ИЛИ

https://vk.com/doc-57032141_451699934

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ



Дорогие Друзья!

Прежде чем приступить к решению задач и оформлению отчета участника заочной олимпиады SamRAS-2019, **внимательно** ознакомьтесь с **«Руководством зарегистрированного участника заочной олимпиады по астрономии SamRAS-2019»!** Электронный адрес последнего указан в **Памятке участника.**

Уровень «Новичок» (уровень А)***Задача № 1. «Луна, звезды и созвездия»***

На рис. 1 представлена фотография участка звездного неба, полученная астротелеграфом-любителем. Определите по фотографии:

1. В каком созвездии находилась Луна на момент съемки? (1 балл).
2. Как называется ярчайшая звезда созвездия, в котором прибывала Луна? (1 балл).
3. Назовите пять ярчайших звезд, запечатленных на фотографии. (1 балл).
4. Как называется ярчайшее рассеянное скопление, изображенное на фотографии? (1 балл).
5. Как называется ярчайшая эмиссионная туманность (заметна на пределе видимости), запечатленная на фотографии? В каком созвездии она расположена? (1 балл).

Задача № 2. «Звезда с неопределенным азимутом»

Чему равно склонение звезды, наблюдаемой в г. Самаре ($\varphi_S = 53^\circ 12'$), у которой, как минимум 1 раз в сутки, азимут становится неопределенным? В какой точке кульминирует эта звезда? К какому классу (незаходящих, восходящих и заходящих, невосходящих) светил ее можно отнести? (3 балла).

Задача № 3. «Самый быстрый во вращении галилеев спутник»

Какой из галилеевых спутников Юпитера характеризуется наименьшим периодом вращения вокруг своей оси? Свой ответ поясните. (3 балла).

Задача № 4. «Луна в первой и последней четверти»

Луна наблюдается в г. Самаре ($\varphi_S = 53^\circ 12'$) в верхней кульминации в а) первой четверти, б) последней четверти. В какое время года ее высота над горизонтом будет 1) максимальной? 2) минимальной? Чему равны соответствующие значения высоты. Следует полагать наклонение лунной орбиты равным $i_\zeta = 5^\circ 09'$. (4 балла).



Рис. 1: фотография звездного неба (автор – Юрий Звездный).

Задача № 5. «Когда метеороидов падает больше?»

Как известно, на поверхность Земли непрерывно падают метеороиды. В какую часть суток на территорию Самарской области выпадает в среднем наибольшее количество метеороидов? Как это результат зависит от времени года? (4 балла).

Задача № 6. «Уравнение гидростатического равновесия и его вывод»

Как известно, уравнение гидростатического равновесия является одним из главных уравнений физики внутреннего строения звезд и планет. Данное уравнение, в случае сферически симметричного распределения вещества в телах указанных объектов, представляется в виде:

$$\frac{dp}{dr} = -\frac{G \rho(r) M(r)}{r^2}, \quad (1)$$

здесь p – давление вещества, $\rho(r)$ – его плотность на расстоянии r от геометрического центра тела, $M(r)$ – масса вещества, заключенного внутри сферы радиуса r . С использованием законов классической механики получите данное уравнение. Для каких типов астрофизических объектов данное уравнение не применимо? (5 баллов).

Уровень «Знаток» (уровень В)

Задача № 7. «Фаза Луны и разность гелиоцентрических расстояний»

Одним из луноходов была получена фотография Земли (см. рис. 2). Определите, чему была равна фаза Луны в это момент? Какое количество дней спустя после последнего полнолуния была получена эта фотография? Чему равна разность гелиоцентрических расстояний Луны и Земли в момент получения фото? (6 баллов).



Рис. 2: фотография Земли, полученная с поверхности Луны.

Задача № 8. «Проект получения термоядерной энергии на орбите»

Юными исследователями предложен проект будущего по освоению энергии термоядерного синтеза для мирных нужд человека, который подразумевает установку параболического зеркала на орбите Земли. В фокусе зеркала должна располагаться черная сферическая капсула с водородом радиуса $r = 0.90 f \rho_{\odot}$, где f – фокусное расстояние зеркала, $\rho_{\odot}$ – угловой радиус Солнца. Определите, является ли реалистичным данный проект? Для этого следует оценить относительное отверстие зеркала и учесть, что температура поджига водорода должна быть не менее $T_{\min} = 10^7$ К. (7 баллов).

Задача № 9. «Минимальная дистанция до объекта, изображение которого является четким»

У начинающего астрофотографа-любителя есть зеркальный цифровой фотоаппарат, матрица которого содержит N мегапикселей (Мп), ее кроп-фактор равен k , а объектив с фокусным расстоянием f и относительным отверстием χ . Последний сфокусирован на бесконечность (для съемки звездного неба). Изображение на матрице следует считать резким, если вместо идеального изображения в виде точки, на матрице получается изображение в форме пятна, диаметр которого не превосходит $n = 4$ пикселей. Если объектив находится на фокусном расстоянии от матрицы, то резкими считаются не только бесконечно удаленные предметы, но и все предметы, находящиеся дальше некоторого минимального расстояния $L_{\min}$. Оцените величину расстояния $L_{\min}$. Численный расчет провести для фотоаппарата Canon 600D, с

$N = 18$ Мп, кроп-фактором $k = 1.6$ в связке с объективом Canon ($f = 50$ mm, $\chi = 1 : 1.8$). При решении задачи следует обязательно сделать рисунок, поясняющий решение. (8 баллов).

Задача № 10. «Третий обобщенный закон Кеплера для двух пар тел»

С использованием законов классической механики докажите, что для двух пар гравитирующих тел с массами $(\mathfrak{M}_1, \mathfrak{M}_2)$ и $(\mathfrak{M}_3, \mathfrak{M}_4)$, движущихся вокруг их центров масс, по эллиптическим орбитам, с периодами T_1 и T_2 , и большими полуосями a_1 и a_2 орбит относительного движения соответственно, справедлив третий обобщенный закон Кеплера в виде:

$$\frac{(\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2)T_1^2}{(\mathfrak{M}_3 + \mathfrak{M}_4)T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (2)$$

Предположим, что второй парой тел является система «Солнце-Земля» с периодом $T_{\oplus} = 1$ год, и большой полуосью относительного движения $a_{\oplus} = 1$ а.е., а первой парой тел является двойная звезда. Полагая, что массы звезд выражаются в массах Солнца, период обращения в годах, а большая полуось a_1 – в а.е., докажите, что закон (2) можно записать в виде:

$$\tilde{\mathfrak{M}}_1 + \tilde{\mathfrak{M}}_2 = \frac{\tilde{a}^3}{\tilde{T}^2}, \quad (3)$$

здесь знаком « $\sim$ » отмечены безразмерные величины, соответствующие размерным, в указанных выше единицах. (8 баллов).

Задача № 11. «Движение строго "за Солнцем"»

Житель Самарской области отправился в необычное путешествие: в день летнего солнцестояния (21 июня) он прибыл на северный тропик и стал следовать строго за Солнцем на винтокрылой машине так, чтобы каждый следующий полдень Солнце наблюдать в зените. Определите

1. Среднюю скорость движения путешественника относительно поверхности Земли. (2 балла).
2. Расстояние, которое он преодолел от дня летнего до дня зимнего солнцестояния. (1 балл).
3. Максимальные скорости изменения его географических координат и дни, в которые достигались указанные значения. (4 балл).
4. Какие расстояния путешественник преодолел вдоль а) меридиана, б) экватора? (2 балла).

Задача № 12. «Связь светимости и яркости для ламбертовского излучателя»

В фотометрии небесных тел, для описания протяженного источника света, часто используют понятие **фотометрической светимости**¹ (M). Под ней понимается световой поток, отбрасываемой единицей поверхности наружу по всем направлениям (в пределах значений θ от 0 до $\pi/2$, где θ – угол, образуемый данным направлением с внешней нормалью к поверхности):

$$M = \frac{d\Phi_{\ell}^{\text{ext}}}{dS}, \quad (4)$$

здесь $d\Phi_{\ell}^{\text{ext}}$ – световой поток, испускаемый наружу по всем направлениям элементом поверхности dS источника. Если светимость характеризует излучение света данным элементом поверхности по всем направлениям, то для характеристики излучения света в заданном направлении служит **яркость** L . Направление всегда можно задать полярным углом θ (отсчитываемым от внешней нормали $\vec{n}$ к излучающей площадке ΔS) и азимутальным углом φ . **Яркость** определяется

как отношение потока света, отброшенного элементарной площадкой ΔS в данном направлении, в телесный угол $d\Omega$, к данному углу и проекции площадки ΔS на плоскость, перпендикулярную к выбранному направлению (см. рис. 3):

$$L = \frac{d\Phi_{\ell}^{\text{extr}}}{d\Omega \Delta S \cos \theta}. \quad (5)$$

В общем случае яркость различна для разных направлений, т.е. $L = L(\theta, \varphi)$.

Одной из самых популярных моделей источника излучения является модель **ламбертовского излучателя** – это излучатель, у которого яркость постоянна и не зависит от направления. Докажите, что для ламбертовского источника справедливо равенство вида:

$$M = \pi L. \quad (6)$$

(10 баллов).

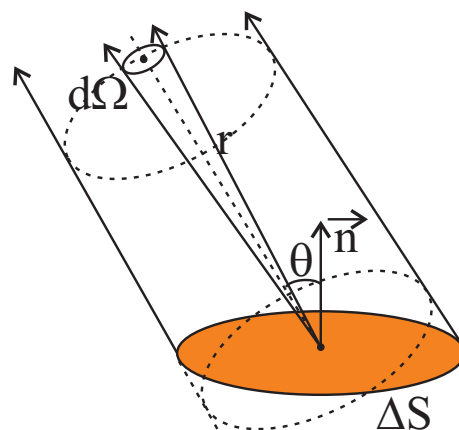


Рис. 3: к определению яркости.

¹Не путать с астрофизической светимостью!

Уровень «Профи» (уровень С)

Задача № 13. «Современный планетарий с ламбертовским куполом»

В одном из современных планетариев звездный зал имеет равномерно светящийся купол, в форме полусферы, опирающейся на горизонтальную поверхность. Определите освещенность в центре этой поверхности, если яркость купола равна L и не зависит от направления. (11 баллов).

Задача № 14. «Строгое математическое обоснование второго закона Кеплера для двойной системы»

С использованием второго закона Ньютона, закона всемирного тяготения и понятия момента импульса, докажите строго математически выполнение второго закона Кеплера для каждой из компонент системы двух гравитирующих тел с массами $\mathcal{M}_1$ и $\mathcal{M}_2$ соответственно. Как соотносятся секторные скорости данных тел? (12 баллов).

Задача № 15. «Площадь весеннего треугольника»

Докажите, что площадь части сферической поверхности радиуса R , ограниченная сферическим треугольником, представляется в виде:

$$S_{\Delta} = (\angle A + \angle B + \angle C - \pi)R^2, \quad (7)$$

здесь $\angle A$, $\angle B$, $\angle C$ – углы при вершинах сферического треугольника. С использованием результата (7) вычислите площадь весеннего треугольника, образованного Арктуром ($14^{\text{h}}15^{\text{m}}40^{\text{s}}$, $+19^{\circ}10'57''$), Спикой ($13^{\text{h}}25^{\text{m}}12^{\text{s}}$, $-11^{\circ}09'41''$) и Денебой ($11^{\text{h}}49^{\text{m}}04^{\text{s}}$, $+14^{\circ}34'19''$). (13 баллов).

Задача № 16. «Оптическая поверхность без сферической аберрации»

Параллельный пучок света падает из вакуума на поверхность, которая ограничивает область с показателем преломления n (см. рис. 4). Найдите уравнение профиля этой поверхности $y(x)$, при которой пучок будет сфокусирован в точке F на расстоянии f от вершины O . Пучок какого максимального радиуса (r_{max}) сечения может быть сфокусирован? (13 баллов).

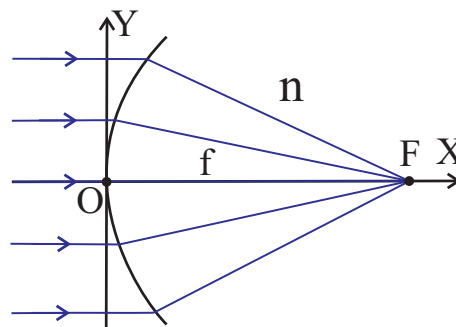


Рис. 4: к определению яркости.

Задача № 17. «Задача Кеплера для μ -точки в гравитационном поле неподвижного силового центра»

В задаче № 18, этапа № 1, SamRAS-2019 было строго доказано, что описание движения двух точечных гравитирующих тел (или шаров со сферически

симметричным распределением вещества) с массами $\mathfrak{M}_1$ и $\mathfrak{M}_2$ можно свести к описанию движения одной фиктивной μ -точки с приведенной массой $\mu = \mathfrak{M}_1 \mathfrak{M}_2 / (\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2)$ относительно неподвижной фиктивной материальной точки с массой $\mathfrak{M} = \mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2$. С использованием второго закона Ньютона и закона всемирного тяготения

1. Запишите уравнение движения μ -точки в поле неподвижной материальной точки с массой $\mathfrak{M}$ в векторной форме. (1 балл).
2. Используйте полярную систему координат. Запишите полученное уравнение в проекциях на орты $(\vec{n}_r, \vec{n}_\varphi)$ полярной системы координат. (2 балла).
3. Докажите, что уравнение в проекциях на орт $\vec{n}_\varphi$ можно преобразовать к виду:

$$r^2 \dot{\varphi} = \text{const}, \quad (8)$$

здесь (r, φ) – полярные радиус-вектор и угол соответственно. (1 балл).

4. Докажите, что данную константу можно представить в виде:

$$\text{const} = \frac{L}{\mu}, \quad (9)$$

здесь L – момент количества движения μ -точки. (2 балла).

5. Преобразуйте уравнение движения в проекциях на орт $\vec{n}_r$ к уравнению гармонических колебаний, посредством замены вида $r = 1/\rho$. (3 балла).
6. Докажите, что его решение можно представить в следующем виде:

$$r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos \varphi}, \quad (10)$$

здесь p – фокальный параметр, ε – эксцентриситет орбиты. (2 балла).

7. Получите выражение для эксцентриситета орбиты μ -точки в форме:

$$\varepsilon = \sqrt{1 + \frac{2 E_0 L^2}{\mu (G \mu \mathfrak{M})^2}} \quad (11)$$

и покажите строго математически, что у μ -точки возможны три семейства траекторий, одним из которых является семейство эллипсов. (2 балла).

8. Запишите законы движения μ -точки в форме обратных зависимостей $t = t(r)$ и $t = t(\varphi)$, в интегральной форме. (1 балл).

Задача № 18. «Эволюция орбит планет земной группы и астероидов главного пояса»

Как известно, масса Солнца непрерывно уменьшается, в результате термоядерного синтеза и излучения образовавшейся энергии. Уменьшение массы приводит к уменьшению силы притяжения, что неминуемо должно сказываться на форме и размерах орбит тел, движущихся вокруг центрального светила.

Возраст, $\times 10^9$ лет	4.58 (на- стоящее время)	12.17 (крас- ный гигант)	12.30 (вто- ричное расширение)	12.38 (белый карлик)
$\mathfrak{M}_{\odot}/\mathfrak{M}_{\odot}^{(0)}$	1.000	0.668	0.546	0.541
$\beta_{\odot}$, %	00.0	33.2	45.4	45.95
$\mathfrak{R}_{\odot}/\mathfrak{R}_{\odot}^{(0)}$ (а.е.)	1.000 ($4.65 \cdot 10^{-3}$)	256 (1.19)	149 (0.69)	≤ 0.1 ($4.65 \cdot 10^{-4}$)
Тело	Радиус орбиты, а.е.			
Меркурий	0.3871			
Венера	0.7233			
Земля	1.0000			
Марс	1.5237			
Паллада	2.773			
Юнона	2.672			
Веста	2.361			
Астрея	2.573			
Геба	2.426			
Гигия	3.139			

Примечание: здесь и далее $\beta_{\odot}$ – относительное изменение массы Солнца, определяемое выражением

$$\text{вида } \beta_{\odot} = \frac{(\mathfrak{M}_{\odot}^{(0)} - \mathfrak{M}_{\odot})}{\mathfrak{M}_{\odot}^{(0)}} \cdot 100\%.$$

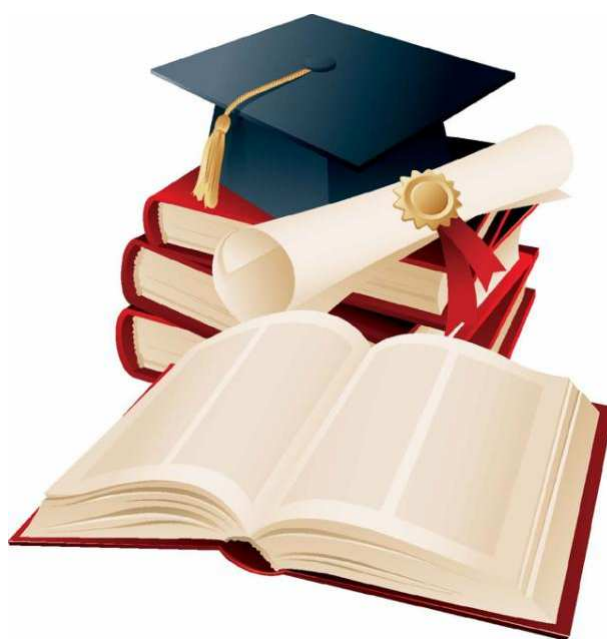
Таблица 1: параметры Солнца, планет земной группы и некоторых астероидов главного пояса (в приближении круговых орбит).

1. Определите изменение (Δa) большой полуоси орбиты Земли за 1 год. (2 балла).
2. Получите закон изменения радиуса круговой орбиты небесного тела, как функцию а) массы Солнца, б) ее относительного изменения. Вычислите значения радиусов круговых орбит для некоторых тел Солнечной системы, для трех будущих эпох в эволюции Солнца. Заполните таблицу 1, сделайте выводы. (5 баллов).
3. С использованием результатов предыдущей задачи, получите законы изменения большой полуоси и эксцентриситета эллиптической орбиты небесного тела, как функции а) массы Солнца, б) ее относительного изменения. Вычислите значения указанных элементов орбит для некоторых тел Солнечной системы, для трех будущих эпох в эволюции Солнца. Заполните таблицу 2, сделайте выводы. Как сильно поменяется образ внутренней части Солнечной системы за последующие 7.8 млрд. лет? (8 баллов).

Возраст, $\times 10^9$ лет	4.58 (на- стоящее время)	12.17 (крас- ный гигант)	12.30 (вто- ричное расширение)	12.38 (белый карлик)
$m_{\odot}/m_{\odot}^{(0)}$	1.000	0.668	0.546	0.541
$\beta_{\odot}$, %	00.0	33.2	45.4	45.95
$\mathfrak{N}_{\odot}/\mathfrak{N}_{\odot}^{(0)}$ (a.e.)	1.000 ($4.65 \cdot 10^{-3}$)	256 (1.19)	149 (0.69)	≤ 0.1 ($4.65 \cdot 10^{-4}$)
Тело	Большая полуось орбиты, а.е.			
Меркурий	0.3871			
Венера	0.7233			
Земля	1.0000			
Марс	1.5237			
Паллада	2.773			
Юнона	2.672			
Веста	2.361			
Астрея	2.573			
Геба	2.426			
Гигия	3.139			
	эксцентриситет орбиты			
Меркурий	0.2056			
Венера	0.0068			
Земля	0.0167			
Марс	0.0933			
Паллада	0.231			
Юнона	0.256			
Веста	0.089			
Астрея	0.193			
Геба	0.202			
Гигия	0.117			

Таблица 2: параметры Солнца, планет земной группы и некоторых астероидов главного пояса (в случае эллиптических орбит).

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ



А.1. Основные физические и астрономические постоянные

- Гравитационная постоянная – $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
- Скорость света в вакууме – $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
- Универсальная газовая постоянная – $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
- Постоянная Стефана-Больцмана – $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
- Постоянная Авогадро – $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
- Масса протона – $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
- Масса электрона – $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
- Астрономическая единица – $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- Парсек – $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла – $H = 72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

А.2. Данные о Солнце

- Радиус – $6.955 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Масса – $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
- Светимость – $3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
- Спектральный класс – G2
- Видимая звездная величина – -26.74^m
- Абсолютная болометрическая звездная величина – $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) – $+0.67^m$
- Эффективная температура – 5778 К
- Средний горизонтальный параллакс – $8.794''$
- Солнечная постоянная (во всем спектре)
на расстоянии Земли – 1361 Вт/м^2
- Солнечная постоянная (в видимом свете)
на расстоянии Земли – 600 Вт/м^2

А.3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты – 0.017
- Тропический год – 365.24219 сут
- Средняя орбитальная скорость – 29.8 км/с
- Период вращения – $23 \text{ часа } 56 \text{ минут } 04 \text{ секунды}$
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 – $23^\circ 26' 21.45''$

- Средний по объему радиус – 6371.0 км
- Средний экваториальный радиус – 6378.14 км
- Длина земного меридиана – 20004.276 км
- Полярный радиус – 6356.77 км
- Масса – $5.974 \cdot 10^{24}$ кг
- Средняя плотность – $5.52 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы – N_2 (78%), O_2 (21%), Ar ($\sim 1\%$)

А.4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли – 384400 км
- Минимальное расстояние от Земли – 356410 км
- Максимальное расстояние от Земли – 406700 км
- Эксцентриситет орбиты – 0.055
- Наклон плоскости орбиты к эклиптике – $5^\circ 09'$
- Сидерический (звездный) период обращения – 27.321662 сут
- Синодический период обращения – 29.530589 сут
- Радиус – 1738 км
- Масса – $7.348 \cdot 10^{22}$ кг или $1/81.3$ массы Земли
- Средняя плотность – $3.34 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Визуальное геометрическое альbedo – 0.12
- Видимая звездная величина в полнолуние – -12.7^m

А.5. Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(x \pm \alpha) \approx \sin \alpha \pm x \cos \alpha;$$

$$\cos(x \pm \alpha) \approx \cos \alpha \mp x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(x \pm \alpha) \approx \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + n x;$$

здесь $x \ll 1$, все углы выражаются в радианах.

А.6. Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики	Период обращения	Синодический период
	млн. км	а.е.				
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	–
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	164.79 лет	367.5

А.7. Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометрич. альбедо	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695500	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	–	-26.8^m
Меркурий	$3.302 \cdot 10^{23}$	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.10	-0.1
Венера	$4.869 \cdot 10^{24}$	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут [†]	177.36	0.65	-4.4^m
Земля	$5.974 \cdot 10^{24}$	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 час	23.45	0.37	–
Марс	$6.419 \cdot 10^{23}$	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 час	25.19	0.15	-2.0^m
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	-2.7^m
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	0.4^m
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час [†]	97.86	0.51	5.7^m
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 час	28.31	0.41	7.8^m

* для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

А.8. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбедо	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см ⁻³	км	сут		
Земля							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
Марс							
Фобос	$1.08 \cdot 10^{16}$	~ 10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	$1.8 \cdot 10^{15}$	~ 6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
Юпитер							
Ио	$8.94 \cdot 10^{22}$	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	$4.8 \cdot 10^{22}$	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	$1.48 \cdot 10^{23}$	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	$1.08 \cdot 10^{23}$	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
Сатурн							
Тефия	$7.55 \cdot 10^{20}$	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	$1.05 \cdot 10^{21}$	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	$2.49 \cdot 10^{21}$	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	$1.35 \cdot 10^{23}$	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	$1.88 \cdot 10^{21}$	730	1.21	3560800	79.33018	0.20	~ 11.0
Уран							
Миранда	$6.33 \cdot 10^{19}$	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	$1.7 \cdot 10^{21}$	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	$1.27 \cdot 10^{21}$	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	$3.49 \cdot 10^{21}$	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	$3.03 \cdot 10^{21}$	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
Нептун							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 [†]	0.7	13.5

* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

А.9. Диаграмма видимого годичного движения Солнца по эклиптике и график для уравнения времени

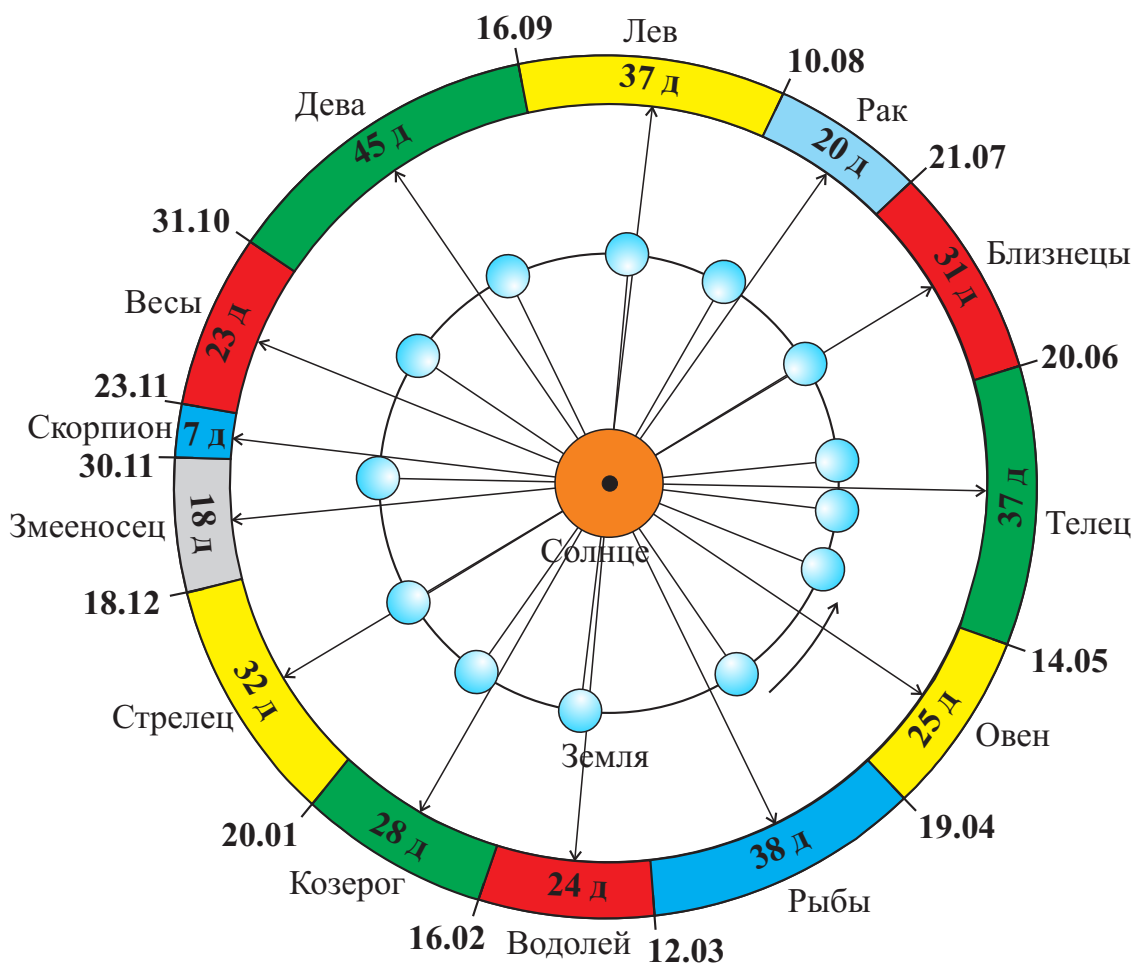


Рис. А.1. Диаграмма видимого годичного движения Солнца по эклиптике.

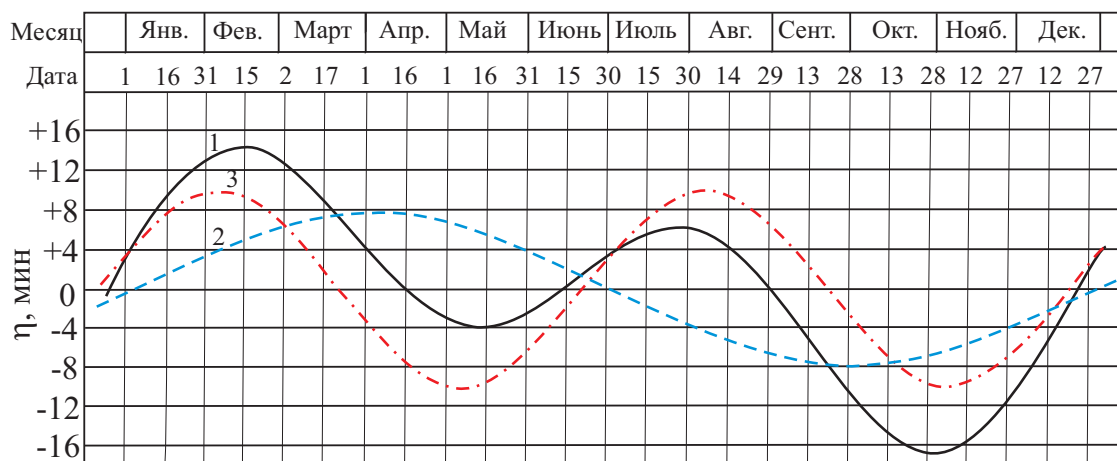


Рис. А.2. График уравнения времени: 1 — уравнение времени, 2 — уравнение центра, 3 — уравнение от наклона эклиптики.

А.10. Некоторые характеристики звезд

Болометрические поправки ΔM_b

Спектр	ΔM_b	Спектр	ΔM_b		
			Гл. последо- вательность	Гиганты	Сверхгиганты
B0	– 2.70	F5	– 0.04	– 0.08	– 0.12
B5	– 1.58	F8	– 0.05	– 0.17	– 0.28
A0	– 0.72	G0	– 0.06	– 0.25	– 0.42
A5	– 0.31	G2	– 0.07	– 0.31	– 0.52
F0	– 0.09	G5	– 0.10	– 0.39	– 0.65
F2	– 0.04	G8	– 0.10	– 0.47	– 0.80
		K0	– 0.11	– 0.54	– 0.93
		K2	– 0.15	– 0.72	– 1.20
		K3	– 0.31	– 0.89	– 1.35
		K4	– 0.55	– 1.11	– 1.56
		K5	– 0.85	– 1.35	– 1.86
		M0	– 1.43	– 1.55	– 2.2
		M1	– 1.70	– 1.72	– 2.6
		M2	– 2.03	– 1.95	– 3.0
		M3	– 2.35	– 2.26	– 3.6
		M4	– 2.7	– 2.72	– 3.8
		M5	– 3.1	– 3.4	– 4.0

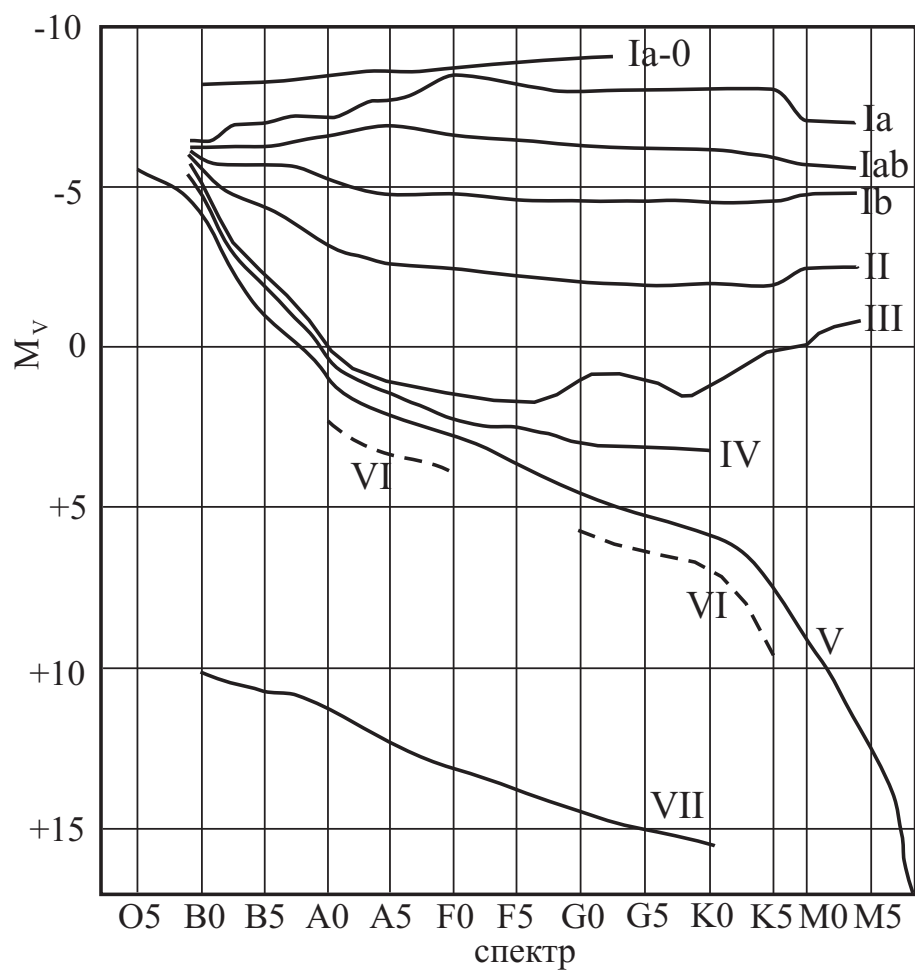


Рис. А.3. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	(H)												
2	Li Литий	Be Бериллий	B Бор	C Углерод	N Азот	O Кислород	F Фтор	Ne Неон	He Гелий				
3	Na Натрий	Mg Магний	Al Алюминий	Si Кремний	P Фосфор	S Сера	Cl Хлор	Ar Аргон	Ne Неон				
4	K Калий	Ca Кальций	Sc Скандий	Ti Титан	V Ванадий	Cr Хром	Mn Марганец	Fe Железо	Co Кобальт	Ni Никель			
5	Rb Рубидий	Sr Стронций	Y Иттрий	Zr Цирконий	Nb Ниобий	Mo Молибден	Tc Технеций	Ru Рутений	Rh Родий	Pd Палладий			
6	Cs Цезий	Ba Барий	La* Лантан	Hf Гафний	Ta Тантал	W Вольфрам	Re Рений	Os Осмий	Ir Иридий	Pt Платина			
7	Fr Франций	Ra Радий	Ac** Актиний	Rf Рифтордий	Db Дубний	Sg Сибургий	Bh Борий	Hs Хассий	Mt Мейтнерий	RO ₄			
8	Ce Церий	Pr Прозетимий	Nd Неодим	Pm Прометий	Sm Самарий	Eu Европий	Gd Гадолиний	Tb Тербий	Dy Диспрозий	Ho Гольмий	Er Эрбий	Tm Туллий	Yb Иттербий
9	Th Торий	Pa Протактиний	U Уран	Np Нептуний	Pu Плутоний	Am Америций	Cm Курций	Bk Берклий	Cf Калифорний	Es Эйнштейний	Fm Фермий	Md Менделевий	No Нобелий

Рис. А.4. Таблица Менделеева.